

特高压输电线路工程钢管塔加工关键技术

中国电力科学研究院 (北京 100070) 徐德录 常建伟 张东英 张磊 王慧 于长海 包乐庆

【摘要】 结合我国输电线路钢管塔加工技术现况和皖电东送(淮南—上海)1000kV特高压输电线路工程钢管塔加工技术要求,简要论述了特高压输电线路工程钢管塔用关键原材料、构件制作、焊接、检验、监造以及高强钢应用等方面的关键技术。

输电线路钢管塔是指主材用圆形钢管构件,斜材(或辅助材)用钢管或圆钢、型钢等构件组成的空间格构式结构。日本是钢管塔使用较多的国家,在1000kV、500kV和220kV等输电线路中均广泛使

用钢管塔,并广泛采用带颈法兰和直缝焊管对接焊的连接形式。我国输电线路钢管塔最初主要应用于大跨越工程,据不完全统计,不同电压等级的大跨越工程中已有近30个跨越采用了钢管塔结构,主要

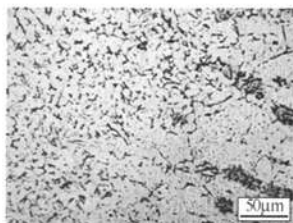


图15 接头熔合区显微金相组织

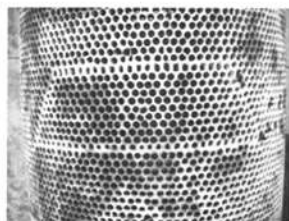


图17 滤网裂纹工程镶嵌修复

四、工程应用

根据工艺试验总结形成“滤网焊接修复工艺规程”,应用于服役滤网的工程修复。按照开裂范围分别采用了集中修复和镶嵌修复的方法进行,修复区域如图16、图17所示,修复后整体渗透探伤未发现

周围网孔出现大范围拉裂现象,修复区域整体变形满足筒体现场装配要求。实践证明,制定的工艺规程可满足汽轮机高压主汽门滤网的焊接修复需要。

五、结语

(1) 压板对接(FISCO)焊接裂纹试验结果表明,采用H0Cr20Ni10Ti焊丝、在热输入量12kJ/cm内可防止不锈钢高压主汽门焊接热裂纹产生。

(2) 根据裂纹分布特征,设计了离散修复、集中修复和镶嵌修复三种方案,试验结果和工程修复应用表明,对应的滤网焊接修复技术方案和工艺实现了裂纹的消除和变形控制,尤其是镶嵌修复可大量减少焊接填充量,修复质量满足工程技术要求。

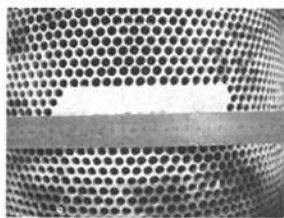


图16 滤网裂纹工程集中修复

MW (20110425)

集中在输电容量大、杆塔承载荷载大的江河跨越工程。

钢管塔具有结构传力清晰、用钢量少、占地面积小、塔型美观及附加荷载小等优点，有利于充分发挥材料的承载能力，提高输电线路建设水平。运行实践表明，钢管塔在极端气候条件下抵抗自然灾害的能力明显高于角钢塔。在下列情况下，推荐使用钢管塔：①铁塔高度超过 60m。②220kV 及以上电压等级的同塔双回、多回线路铁塔。③大跨越线路铁塔。④有景观等特殊要求的区域。

2008 年，国家电网公司提出“输变电线路钢管塔的大规模应用，不仅是输变电线路建设的重大创新，也将带来钢管行业的革命”。推广应用钢管塔，体现了电网建设创新，是基建标准化建设和全寿命周期管理工作的重要组成部分，是全面建设“两型三新”输电线路的具体举措，对转变电网发展方式具有重要意义。

以皖电东送淮南—上海 1000kV 特高压交流输电工程全线采用钢管塔为里程碑，钢管塔在我国输电线路工程中将得到推广应用。

与角钢塔相比，钢管塔加工难度大，制造要求高，涉及带颈法兰、直缝焊管、高强螺栓等新型原材料（构件），钢管—法兰对接焊、各种插板、连接板的制作、焊接、检验等关键技术。

1. 钢管塔用关键原材料加工技术

(1) 直缝焊管加工技术 ①制造工艺：皖电东送工程用直缝焊管要求直径 426mm 及以上钢管采用焊条电弧焊工艺生产，直径 426mm 以下规格采用高频焊工艺生产。制造直缝焊管所用的钢板或钢带需 100% 超声波检验，高频电阻焊管不允许修补，所有的直缝焊管不允许有环向连接的接头。②直缝焊管尺寸、外形技术要求：输电铁塔用直缝焊管在外径偏差、厚度偏差、长度及允许偏差、弯曲度、下料端面倾斜度等方面的要求明显严于输油、输气等管线用焊管的要求。③高强度直缝焊管：指屈服强度在 420MPa 及以上等级的焊管，输电铁塔主要采用 Q420B、Q460C 级材质。目前，不同批次钢管的性能波动较大，主要表现为：不同批次产品管体强度值波动较大，冲击吸收能量较分散。焊缝冲击吸收能量较钢管管体有较大幅度的下降。

因此，在高强直缝焊管的加工中，必须对钢管

用原材料的质量、钢板下料、焊接工艺、去应力工艺及焊缝的无损检测进行严格控制。

(2) 带颈法兰加工技术 输电线路钢管塔用带颈法兰有带颈对焊法兰和带颈平焊法兰两种基本形式，皖电东送 1000kV 同塔双回钢管塔采用带颈对焊法兰。根据法兰在钢管塔中的位置、受力状况，也有内壁变径的带颈对焊法兰。

带颈法兰尺寸、外形公差技术要求：依据带颈法兰的形式和焊接要求，对焊法兰焊端外径、平焊法兰内径的公差有较高的要求。其他尺寸与公差主要是为了满足法兰连接的强度和刚性（刚性法兰或柔性法兰）要求，以及螺栓连接要求和构件组装精度要求。①带颈法兰加工技术：带颈法兰生产的关键环节在于控制钢坯的成分与性能、锻坯的锻造工艺、热处理工艺等。钢管塔用法兰检验项目包括钢坯检验、锻件检验、产品检验。②输电线路钢管塔用锻造法兰因需要进行热浸镀锌防腐处理，因此其供货状态为机加工状态供货，且表面不涂防锈油。

(3) 高强螺栓加工技术 在皖电东送 1000kV 同塔双回输电线路钢管塔中为减小法兰尺寸，减小螺栓的数量和规格，全面采用 8.8 级高强螺栓，随着钢材强度的提高，10.9 级螺栓也有望在钢管塔中得到应用。①8.8 级高强螺栓用钢：皖电东送工程用 8.8 级螺栓用材如表 1 所示。配套螺母一般采用 40Cr 材料制造。②8.8 级高强螺栓加工技术：8.8 级高强螺栓及配套螺母在加工过程中应采用碱性方法去除其表面油脂，采用喷丸（喷砂）工艺去除其表面锈斑。镀锌时不得采用酸洗工艺除锈。

表 1 8.8 级螺栓用材及淬火介质

规格	材料	热处理
M27 及以下	40Cr	油淬 + 回火
M30 ~ M56	42CrMo	油淬 + 回火

钢管塔用螺母的螺纹采用扩孔的方法容纳外螺纹镀层，内螺纹镀后攻丝的工艺进行加工。

螺栓加工时，其 T 形头处不得留有加工沟槽，倒角应满足加工精度要求。

2. 钢管塔构件加工技术

(1) 下料 钢管塔构件加工时，应根据构件的材质、形状、厚度，合理选择冷切割（锯切、剪切）、热切割（氧乙炔切割、等离子切割）工艺下

料。热切割时,宜优先采用等离子切割。切割相贯线应采用数控相贯切割机。热切割质量应分别满足 JB/T10045.3、JB/T10045.4 I 级切割面质量要求。不同材质允许剪切的厚度如表 2 所示。

(2) 制孔 制孔采用冲孔和钻孔两种方式,不同材质允许冲孔的最大厚度如表 2 所示。

表 2 允许剪切、冲孔最大厚度 (mm)

材质	剪切最大厚度	冲孔最大厚度
Q235	24	16
Q345	20	14
Q390	16	12
Q420	14	12
Q460	12	10

(3) 开槽 对插板或 U 形板连接的钢管,宜采用专业开槽机,也可采用钢管上钻孔定位再开槽的方法。

(4) 弯曲 U 形板的弯曲应采用热弯工艺,热弯温度控制在 800~950℃,自然冷却。

(5) 矫正 钢管塔主柱、横担主材不得冷矫正,其他构件弯曲度小于 10°时,可以进行冷矫正。当环境温度低于 0℃时, Q420 及以上等级的材料不得进行冷矫正;当环境温度低于 -12℃时,所有材料不得进行冷矫正。进行加热矫正时,加热温度不应超过 900℃,热矫正后应自然冷却。

3. 钢管塔焊接技术

(1) 钢管塔不同焊接部位的焊缝质量等级要求

①环向对接焊缝、连接挂线板焊缝应满足一级焊缝质量要求。②横担与主管连接焊缝应满足二级焊缝质量要求。③管管相贯焊缝、钢管与带颈平焊法兰连接的搭接角焊缝、钢管与平板法兰连接的环向角焊缝、钢管纵向对接焊缝应满足二级焊缝外观质量要求。④其他焊缝应达到三级焊缝的质量要求。

(2) 钢管塔主要焊缝连接形式 钢管塔主要焊缝连接形式如图 1~图 6 所示。

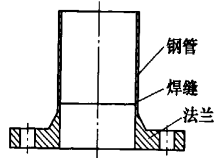


图 1 钢管与法兰对接焊

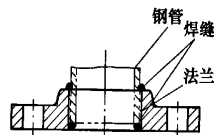


图 2 钢管与法兰插接焊

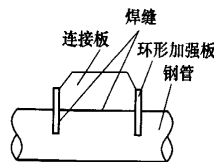


图 3 钢管与连接板、加强板焊接

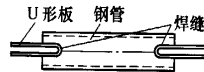


图 4 钢管 U 形槽与 U 形板焊接

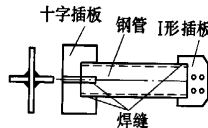


图 5 钢管 U 形槽与插板焊接

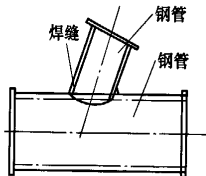


图 6 钢管相贯焊接

(3) 直缝焊管与带颈法兰的焊接 ①焊接工艺评定:在正式施焊前,应结合钢材材质(Q345、Q420、Q460等)、焊接方法(SMAW、GMAW、FCAW、SAW、或组合焊等)、设备(手工、机械、自动焊)进行直缝焊管与法兰对接焊的焊接工艺评定,编制相应的焊接作业指导书、工艺卡,指导其铁塔焊接工作。自动焊接应单独进行焊接工艺评定。②焊工及焊接技术人员的培训考核:从事钢管塔焊接作业的焊接技术人员、焊工应进行专业技术培训和考核,取得电网钢管结构焊接资格证书。若涉及 Q420 及以上等级钢材焊接,需要分别进行 Q420 及 Q460 钢的焊接培训与考核,取得相应钢材等级的焊接资格。

(4) 直缝焊管与法兰自动焊接生产线 影响钢

管塔加工质量与加工进度的关键是直缝焊管与法兰的装配、焊接生产线的设备配置能力。目前各塔厂配备的焊接生产线主要包括钢管、法兰装配线和焊接生产线,同时一般配置有钢管定长切断机、专业坡口加工机等设备。该焊接生产线可完成 $\phi 219\text{mm}$ 及以上直缝焊管与法兰的焊接工作,而 $\phi 219\text{mm}$ 以下的钢管与法兰需要采用焊条电弧焊焊接。从生产使用情况看,1条装配线可满足2~3条焊接生产线的加工能力,1条“1+2”生产线的加工能力(“1+2”生产线指1条装配线+2条自动焊接生产线(4台焊机))相当于8~10名熟练焊工的焊接能力。

焊条电弧焊焊接时,对接焊与插接焊的焊接速度差别不大,自动焊接时的焊接速度为焊条电弧焊焊接的4~5倍,且焊缝外观质量要远优于焊条电弧焊焊接的外观质量。因此,条件允许时,应优先选用自动化焊接。

4. 钢管塔薄壁管对接焊缝检验技术

特高压输电线路工程钢管塔中有大量的薄壁直缝焊管(厚度小于8mm)与法兰对接焊的环形焊缝,而目前相关的超声波检验规程均不适合对该类对接焊缝进行超声波检测。为满足钢管塔检验需要,采用爬波检测作为薄壁管焊缝的超声波检验技术,并编制了相应的技术规范。

与传统的横波检测相比,爬波检测有以下不同:
①可以通过单侧检测实现对焊缝整个截面的检测。
②扫查方式为周向直线扫查,而非锯齿型扫查。
③采用专用的爬波探头和专用对比试块。

经射线检测对比验证表明,爬波检测是一种新型高效的检测方法,具有方法简单、实用、效率高、对仪器适应性强的特点,可以用于输电线路钢管塔薄壁管与带颈法兰对接焊缝的检测。

5. 高强度应用

目前,Q420高强度角钢已经在输电铁塔中得到广泛应用,Q460高强度角钢也在部分试验线路铁塔中得到了应用。据不完全统计,自2006年推广应用Q420高强度角钢以来,输电线路铁塔已采用Q420高强度角钢近40万t,Q460高强度角钢近2万t。

我国已建成的钢管塔工程大多采用Q235和Q345钢,吴淞口大跨越工程中使用过Q390钢材,酒泉—安西750kV工程等五条线路等试点应用了Q420和Q460高强度钢管。

研究表明,Q420、Q460高强度钢管塔具有较高的技术优势和经济优势。与Q345钢管塔相比,采用Q420高强度钢管塔可减轻塔重6%左右,采用Q460高强度钢管塔可减轻塔重8%左右。

高强度在钢管塔中的应用主要包括高强度直缝焊管和带颈法兰及其焊接、加工技术。

6. 钢管塔监造技术

(1) 关键原材料监造技术 如前所述,在钢管塔中大量使用直缝焊管、带颈法兰、8.8级高强螺栓,需要采取必要的监管措施,以确保钢管塔用原材料的质量。驻厂监造是一种行之有效的措施。钢管塔关键原材料的监造包括:直缝焊管监造;带颈法兰监造;8.8级高强螺栓及配套螺母监造。为保证带颈法兰加工质量,在皖电东送工程中带颈法兰除进行驻厂监造外,还增加了第三方检验。

(2) 钢管塔加工监造技术 我国铁塔监造形式主要是驻厂监造,目前主要在500kV及以上线路工程项目中实施。通过监造,可以促进特高压输电线路钢管塔加工质量的提高。

钢管塔监造关键技术控制点主要包括:抽样方案设置;原材料采购监造控制;直缝焊管与带颈法兰对接焊缝及其他一、二级焊缝的监造控制;钢管塔构件拼装监造控制;钢管塔试组装监造控制;热浸镀锌监造控制等。皖电东送工程还增加了钢管与法兰对接焊缝的第三方抽检。

7. 结语

在国家电网公司的积极推动下,2008年以来,钢管塔科研、设计、制造等环节的有关单位开展了大量的工作,形成了一系列的技术成果和技术标准。

尽管我国钢管塔加工技术水平有了大幅度提高,具备了在输电线路工程中推广应用的基本条件,但在以下方面尚需进一步完善:

(1) 钢管塔塔材强度等级有待提高 目前钢管塔塔材大多为Q345B级以下,GB/T1591—2008标准已将钢材等级提高到了Q690级,从长远看,高强度钢管塔应用是必然的趋势。研究高强度钢管塔用直缝焊管、带颈法兰,10.9级高强螺栓的商业化生产,保证产品质量稳定,是应用高强度钢管塔的基础;提高钢管塔制造企业高强度焊接及冷、热加工技术水平,是提高钢管塔加工质量的关键。

(2) 装配精度及互换性有待改进 钢管塔试组装

脉冲半自动 MIG 焊在 5083 铝镁合金管道焊接中的应用

中国石化集团第十建设公司 (山东淄博 255438) 王鹏雁

【摘要】 在对铝镁合金进行焊接性分析的基础上,通过脉冲半自动 MIG 焊试验,利用脉冲电源的高频脉冲击碎铝合金表面的氧化膜,利用瞬时峰值脉冲电流实现较低焊接电流下的熔滴喷射过渡形式,从而实现高效率、高质量的铝镁合金管道的半自动焊接。

1. 概述

随着石化行业的不断发展,铝镁合金等有色金属的使用也是越来越多。铝镁合金由于导热快、密度低、表面容易产生氧化膜、焊丝或坡口表面吸附的水分侵入电弧空间并分解为原子氢而溶入液态铝中等因素的影响,所以在焊接过程中非常容易出现气孔、裂纹等缺陷。为了控制铝镁合金焊接过程中气孔等缺陷的产生,目前常用的手段是使用手工交流 TIG 焊的方式进行铝镁合金的焊接,利用交流电源交替的阴极极性来破坏铝镁合金表面的氧化膜,通过清除氧化膜来达到控制气孔等缺陷产生的目的。使用手工交流 TIG 焊焊接铝镁合金在一般情况下虽然能够满足焊接质量要求,但是也存在一定的问题。主要体现在:手工交流 TIG 焊焊接效率低,焊工劳动强度大;另外焊缝成形差、对焊工技能要求高,焊接过程中焊工操作稍有不当,便会出现气孔、夹

杂、裂纹等焊接缺陷,焊接质量不容易得到保障。

铝镁合金焊接过程中,为了解决上述问题,目前比较常用的手段就是使用半自动脉冲电源进行铝镁合金的焊接。半自动脉冲电源的高频脉冲可以对铝合金表面的氧化膜进行“阴极破碎”作用,击碎铝合金表面的氧化膜,降低气孔等焊接缺陷的产生;脉冲电源提供的较高的峰值脉冲电流可以有效改变焊丝熔滴过渡形式,实现较低焊接电流下的喷射过渡形式,改善焊缝成形,提高焊接质量;脉冲电源还可以大幅度地提高焊接热输入,增大焊接熔池面积,延长焊缝熔池金属的冷却时间,使焊缝熔池金属的气体等有充分的时间逸出焊缝金属表面,减少气孔等焊接缺陷的出现。

2010 年我公司在重庆某化工项目中需要焊接 5083 铝镁合金管道,其中最大管径 900mm,最大厚度 25mm,使用常规的手工交流 TIG 焊在焊接质量和

主要采用立式组装或卧式组装方式,如何提高试组装的效率和组装精度,减少现场安装铁塔的修改,是提高钢管塔施工质量的关键。如果能够提高钢管塔加工工艺水平,取消试组装工序,将可大大降低钢管塔的加工成本。

(3) 铁塔防腐技术研究有待加强 我国输电铁塔普遍采用热浸镀锌防腐技术,镀锌自动化水平低,能耗高,对环境污染严重,只有少数塔厂在镀锌环

节进行了酸雾、锌尘收集与处理、废水处理等环保控制措施。同时,热浸镀锌铁塔在沿海海洋盐雾腐蚀环境下抗腐蚀性差,使用寿命短,后期维护需要喷涂油漆或防腐涂料进行处理。因此,开展输电线路杆塔长效防腐技术研究,解决不同腐蚀环境下杆塔的长效防腐问题,可以提高杆塔使用寿命,降低电网运行成本。MW

(20110426)